

УДК 631.354.2(571.61)

DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-93-98

### Модель для прогнозирования потерь сои за жаткой

**Ирина Александровна Лонцева<sup>1</sup>, Наталья Владимировна Соболева<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет, Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> largoil@mail.ru, <sup>2</sup> soboleva.07@mail.ru

**Аннотация.** В условиях переувлажненных почв уборку рекомендуется выполнять гусеничными зерноуборочными комбайнами. Одной из наиболее востребованных моделей на сегодняшний день является зерноуборочный комбайн «Вектор 450». Он зарекомендовал себя у производителей АПК как надежный, а гусеничный ход, кроме высокой проходимости, обеспечивает плавное перемещение по поверхности поля. Наличие соевой жатки на уборке сои позволяет копировать рельеф и максимально срезать все растения. Определение показателей качества уборки сои – процесс чрезвычайно трудоёмкий и зависит от большого количества параметров (факторов). В статье предложена модель для определения потерь за жаткой, а также метод решения – с использованием набора независимых безразмерных групп. В результате анализа представленной модели проведены эксперименты, показывающие, что общее количество потерь зерна во время уборки с использованием соевой жатки, установленной на гусеничном зерноуборочном комбайне, составит 5,46 %. Такое количество потерь будет в том случае, если скорость уборки не будет превышать 7 км/ч, частота вращения мотвила составит 20 об/мин, а средняя высота среза растений – 5–7 см.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, уборка сои, потери за жаткой

**Для цитирования:** Лонцева И. А., Соболева Н. В. Модель для прогнозирования потерь сои за жаткой // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. Вып. 3 (59). С. 93–98.

### A model for predicting header soy bean losses in a combine harvester

**Irina A. Lontseva<sup>1</sup>, Natalya V. Soboleva<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> largoil@mail.ru, <sup>2</sup> soboleva.07@mail.ru

**Abstract.** In conditions of waterlogged soils, it is recommended to harvest using caterpillar combine harvesters. One of the most popular models today is the «Vector 450» combine harvester. It has proven itself among agro-industrial complex manufacturers as reliable, and the caterpillar track, in addition to high cross-country ability, ensures smooth movement over the field surface. The presence of a soybean header during soybean harvesting allows copying the relief and cuts plants as low as possible. Determination of quality indicators of soybean harvesting is an extremely time-consuming process and depends on a large number of parameters (factors). The article proposes a model for computing the header losses as well as a solution method using a set of independent dimensionless groups. As a result of the analysis of the presented model, experiments were carried out, showing that the total amount of grain losses during harvesting using a soybean header installed on a caterpillar combine harvester would be 5.46 %. This amount of losses will occur if the harvesting speed does not exceed 7 km/h, the reel rotation speed is 20 rpm, and the average cutting height of plants is 5-7 cm.

**Keywords:** combine harvester, soybean harvesting, header soy bean losses

**For citation:** Lontseva I. A., Soboleva N. V. A model for predicting header soy bean losses in a combine harvester. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2021; 3 (59); 93–98.

Выращивание сои – основной вид деятельности предприятий АПК в Амурской области. Весь процесс от обработки почвы и до получения готовой продукции механизирован. Для уборки урожая применяют современные зерноуборочные комбайны, преимущественно отечественного производства или собранные на комбайновых заводах России [1, 5].

Зерноуборочный комбайн – универсальная машина, способная обмолачивать различные культуры (пшеницу, ячмень, овёс, сою, кукурузу и другие). Классификация зерноуборочных комбайнов многообразна, но функции, которые они выполняют на уборке сои, состоят в следующем: срезание стебля, обмолот, очистка, выгрузка.

Основным показателем качества уборки урожая является количество потерь зерна за рабочими органами машины. Потери зависят от большого числа факторов: квалификации механизатора, сорта растения, скорости движения, степени износа основных частей рабочих органов, выбора настроек и регулировок, погодных условий и многих других [2].

Использование специального адаптера в виде соевой жатки направлено на снижение потерь во время среза [3]. В то же время синхронизация скорости движения мотовила и поступательной скорости комбайна позволит меньше разрушать створки бобов и терять зерно. Установка зерноуборочных комбайнов на гусеничную ходовую часть позволяет работать на переувлажненных почвах, в то время, когда колёсная техника простаивает. Несмотря на это, собрать весь урожай с полей невозможно.

Зная, благодаря чему возникли потери, мы можем найти компромиссное решение, при котором уровень потерь и скорость уборки урожая будут оптимальными [4, 5].

В качестве зерноуборочного комбайна для проведения исследований принят зерноуборочный комбайн Вектор 450 на гусеничной ходовой части с соевой жаткой Float Stream 703. Исследования проводились при неблагоприятных условиях на уборке сои в Амурской области осенью 2020 года на участке площадью 200 га с биологической урожайностью 23,5 ц/га.

При выполнении технологического процесса уборки благодаря наличию гусеничного хода зерноуборочный комбайн Вектор-450 плавно перемещается по полю, а жатка хорошо копирует рельеф поля. Для определения оптимальных настроек жатки использовали изменяемые и постоянные параметры (табл.1), которые определяли согласно ГОСТ 28301-2007 «Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний» [7]. Изменяемые параметры: частота (скорость) вращения мотовила, скорость движения зерноуборочного комбайна, высота установки режущего бруса; постоянные параметры: ширина захвата жатки, скорость ножа режущего аппарата.

Исследования проводили на сое сорта Лазурная, влажность зерна – 11,2 %.

После проведения экспериментальных исследований предложена модель для определения потерь за жаткой:

$$F(m_{\pi}, m_z, v_m, v_c, v_k, h_c, B) = 0 \quad (1)$$

где  $m_{\pi}$  – масса общих потерь зерна;  
 $m_z$  – масса собранного зерна (бункерная урожайность);  
 $v_m$  – скорость вращения мотовила;  
 $v_c$  – скорость резания сегментно-пальцевым механизмом;  
 $v_k$  – скорость движения зерноуборочного комбайна;  
 $h_c$  – высота установки режущего бруса;  
 $B$  – ширина захвата жатки.

Практически все исследуемые параметры жатки являются значимыми, что приводит к сложности при выполнении расчётов и анализа. Определение вида этой зависимости требует большого количества экспериментов. Предлагаем сгруппировать параметры таким образом, чтобы получить наборы независимых безразмерных групп, воспользовавшись методом вычисления – теоремой Букингема п. Обозначая безразмерные переменные буквами  $\pi$ , получим результат в общем виде:

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_i) \quad (2)$$

Таблица 1

**Характеристики зерноуборочного комбайна и соевой жатки**

Показатель	Значение
<b>Зерноуборочный комбайн Вектор-450</b>	
Тип молотильного аппарата	1 барабанный
Вместимость бункера, л	6 000
Мощность двигателя, кВт/л.с.	188/255
<b>Соевая жатка Float Stream 703</b>	
Габаритные размеры жатки, мм - длина - ширина - высота	2 370 7 500 1 680
Конструкционная ширина захвата, м	7
Режущий аппарат, тип	Сегментно-пальцевый со стальными штампованными сдвоенными пальцами. Гибкий, шарнирно подвешенный относительно рамы
Высота среза, мм	30–140
Частота вращения шнека, об/мин	160, 180, 200
Мотовило, тип	Лопастной, эксцентриковый с пластиковыми пальцами
Частота вращения мотовила, об/мин	14–55
Рабочая скорость, км/ч	не более 7

Прежде всего необходимо установить, сколько безразмерных комплексов получается из уравнения (1), то есть значение  $i$ . Это значение определяется соотношением:

$$i = n - r, \quad (3)$$

где  $n$  – число переменных;  
 $r$  – максимальное число переменных, из которых нельзя образовать безразмерную комбинацию.

В нашем случае уравнение (1) включает 7 переменных и 3 параметра жатки. Тогда количество безразмерных параметров  $\pi$ , построенных из переменных, составит  $7-3=4$  ( $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ ):

$$\pi_1 = \Pi = \frac{m_3}{m_n}, \quad (4)$$

$$\pi_2 = \frac{v_m}{v_c}, \quad (5)$$

$$\pi_3 = \frac{v_m}{v_k}, \quad (6)$$

$$\pi_4 = \frac{h_c}{B}, \quad (7)$$

Среди приведенных выше параметров  $\pi$ ,  $\pi_1$  – зависимый параметр, а  $\pi_2, \pi_3, \pi_4$  – независимые. Подставив в выражение (2) параметры  $r$ , из выражений (4)–(7), получим:

$$\pi_1 = \Pi = F\left(\frac{v_m}{v_c}, \frac{v_m}{v_k}, \frac{h_c}{B}\right), \quad (8)$$

$$\pi_1 = \Pi = \left[F_1 \frac{v_m}{v_c}, F_2 \frac{v_m}{v_k}, F_3 \frac{h_c}{B}\right] \quad (9)$$

Первоначально получим все функциональные соотношения с  $F_1$  по  $F_3$ , для этого проинтегрируем обе части уравнения (9):

$$\int \Pi dx = \left[ \int_{v_c}^{v_m} F_1 + \int_{v_k}^{v_m} F_2 + \int_B^{h_c} F_3 \right] dx \quad (10)$$

Еще одним принципом группировки параметров стал выбор созависимых переменных, в основу которого было положено уравнение прямой с угловым коэффициентом вида  $y=kx+b$ .

В нашем случае каждая из интегрируемых функций в уравнении (10) содержит свои константы (от  $b_1$  до  $b_3$ ) и уравнение прямой:

$$\int \Pi dx = kx + b, \quad (11)$$

$$\int_{v_c}^{v_m} F_1 dx = f_1|_{v_c}^{v_m} + b_1, \quad (12)$$

$$\int_{v_k}^{v_m} F_2 dx = f_2|_{v_k}^{v_m} + b_2, \quad (13)$$

$$\int_B^{h_c} F_3 dx = f_3|_B^{h_c} + b_3, \quad (14)$$

В ходе исследования константы не были определены до тех пор, пока не было найдено каждое функциональное соотношение. Значение каждой константы  $b$  различно для разных значений других функциональных групп.

Приравнивая левые и правые части, получим:

$$px = f_1|_{v_c}^{v_m} = f_1(v_m) - f_1(v_c), \quad (15)$$

$$px = f_2|_{v_k}^{v_m} = f_2(v_m) - f_2(v_k), \quad (16)$$

$$px = f_3|_B^{h_c} = f_3(h_c) - f_3(B) \quad (17)$$

Для выполнения графического анализа проведены экспериментальные ис-

следования, при этом выбранные параметры находились в определенных границах (табл. 2).

Детальный анализ выражения (8) показывает, что  $\pi_2$  и  $\pi_3$  являются функциями скорости вращения мотвила, и их влияние можно легко оценить, если один параметр оставлять неизменным, а другой изменять (рис. 1, рис. 2).

На рисунке 1 показана линейная зависимость для определения результирующего уравнения:

$$\int_{v_c}^{v_m} F_1 = 1,8774 \int_{v_c}^{v_m} f_1 \quad (18)$$

Рисунок 2 построен для анализа значений и получения зависимости:

$$\int_{v_k}^{v_m} F_2 = 0,9212 \int_{v_k}^{v_m} f_2 \quad (19)$$

В случае с нахождением  $\pi_4$  постоянным параметром выступает ширина захвата жатки, а меняется лишь высота среза растений.

Анализ рисунка 3 позволяет получить следующее уравнение:

$$\int_B^{h_c} F_3 = 2,6568 \int_B^{h_c} f_3 \quad (20)$$

Полученные зависимости (18), (19) и (20) подставим в уравнение (10), которое примет вид:

$$\int \Pi dx = \left[ 1,8774 \int_{v_c}^{v_m} f_1 + 0,9212 \int_{v_k}^{v_m} f_2 + 2,6568 \int_B^{h_c} f_3 \right] dx \quad (21)$$

Таблица 2

### Диапазон основных параметров для графического анализа

Обозначение	Параметр	Диапазон значений
$v_m/v_c$	Отношение скорости вращения мотвила к скорости режущего аппарата	0,018–0,021
$v_m/v_k$	Отношение скорости вращения мотвила к скорости зерноуборочного комбайна	1,380–1,650
$h_c/B$	Отношение высоты режущего бруса к ширине захвата жатки	0,007–0,010

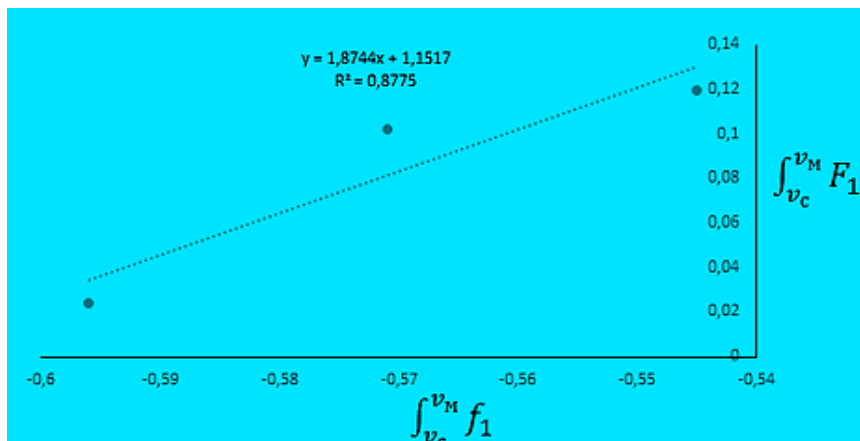


Рисунок 1 – Зависимость между  $\int_{v_c}^{v_M} f_1$  и  $\int_{v_c}^{v_M} F_1$

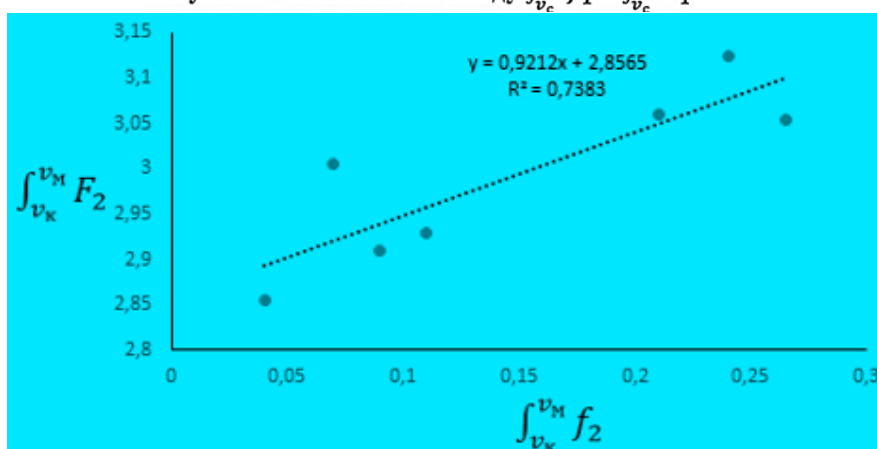


Рисунок 2 – Зависимость между  $\int_{v_k}^{v_M} f_2$  и  $\int_{v_k}^{v_M} F_2$

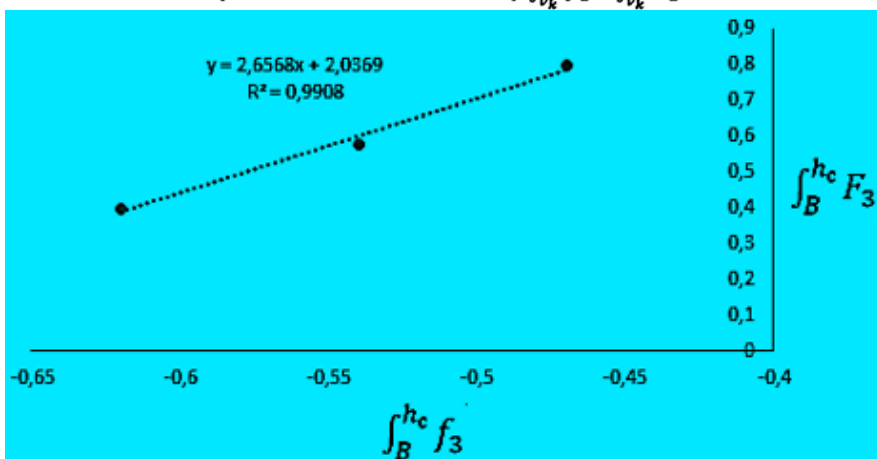


Рисунок 3 – Зависимость между  $\int_B^{h_c} f_3$  и  $\int_B^{h_c} F_3$

В результате анализа уравнения (21) получено значение для  $\pi_1$  как соотношение  $m_3$  и  $m_n$  на уровне 5,46.

В результате анализа модели проведены эксперименты, показывающие, что общее количество потерь зерна во время уборки с использованием соевой жатки, установленной на гусеничном зерноуборочном комбайне, составило 5,46 %. Полученные значения потерь за жаткой и молотильно-сепарирующим

устройством менее 6 % считаются удовлетворительными [6], несмотря на то, что уборка проходила при неблагоприятных условиях с соблюдением рабочей скорости не более 7 км/ч, частоте вращения мотвила 20 об/мин, и средней высоте среза растений 5–7 см. Результаты могут быть иными, если их проводить в других условиях, на сортах сои с иными качественными показателями (сорт, влажность, урожайность и др.).

## Список литературы

1. Бумбар, И. В. Состояние и пути повышения эффективности уборки сои в сельскохозяйственных зонах Амурской области / И. В. Бумбар, И. В. Лазарев, И. А. Лонцева, А. Н. Петренко // Аграрные проблемы научного обеспечения Дальнего Востока: сб. науч. тр. по матер. науч.- практ. конф., посвящённой 45-летию создания Всероссийского НИИ сои: в 2-х томах. – Благовещенск: Всероссийский научно-исследовательский институт сои, 2013. – С. 89–93.
2. Канделя, М. В. Комбайн зерноуборочный роторный на гусеничном ходу / М. В. Канделя, Н. М. Канделя, В. Л. Земляк, И. В. Бумбар // Дальневосточный аграрный вестник. – 2019. – № 4. – С. 117–124.
3. Лонцева, И. А. Агротехническая оценка работы зерноуборочных комбайнов на уборке сои / И. А. Лонцева, М. И. Вязьмин // Дальневосточный аграрный вестник. – 2008. – № 1 (5). – С. 77–79.
4. Лонцева, И. А. Выбор оптимальной скорости движения зерноуборочных комбайнов / И. А. Лонцева // Новые задачи технических наук и пути их решения: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 151–153.
5. Лонцева, И. А. Пути повышения эксплуатационной производительности зерноуборочных комбайнов / И. А. Лонцева // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 4 (44). – С. 175–181.
6. Практикум по технологии производства продукции растениеводства : учебник / В. А. Шевченко, И. П. Фирсов, А. М. Соловьев, И. Н. Гаспарян. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 400 с.
7. ГОСТ 28301-2007. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – Москва : Стандартиформ, 2010. – 40 с.

## References

1. Bumbar, I. V., Lazarev, I. V., Lonceva, I. A., Petrenko, A. N. Sostojanie i puti povysheniya jeffektivnosti uborki soi v sel'skohozjajstvennyh zonah Amurskoj oblasti (State and ways to improve the efficiency of soybean harvesting in agricultural zones of the Amur region), Agrarnye problemy nauchnogo obespechenija Dal'nego Vostoka: sb. nauch. tr. po mater. nauch. - prakt. konf., posvjashhjonnoj 45-letiju sozdanija Vserossijskogo NII soi, v 2-h tomah, Blagoveshhensk, Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut soi, 2013, PP. 89–93.
2. Kandelja, M. V., Kandelja, N. M., Zemljak, V. L., Bumbar, I. V. Kombajn zernouborochnyj rotornyj na gusenichnom hodu (Rotary combine harvester on caterpillar), Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2019, No 4, PP. 117–124.
3. Lonceva, I. A., Vjaz'min, M. I. Agrotehnicheskaja ocenka raboty zernouborochnyh kombajnov na uborke soi (Agrotechnical assessment of the work of grain harvesters in the harvesting of soybeans), Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2008, No 1 (5), PP. 77–79.
4. Lonceva, I. A. Vybor optimal'noj skorosti dvizhenija zernouborochnyh kombajnov (Choice of optimal speed of grain harvesters), Novye zadachi tehniceskijh nauk i puti ih reshenija: cb. statej mezhhdunar. nauch.-prakt. konf., otv. red. Sukiasjan Asatur Al'bertovich, 2015, PP. 151–153.
5. Lonceva, I. A. Puti povysheniya jekspluatacionnoj proizvoditel'nosti zernouborochnyh kombajnov (Ways of increasing the operational productivity of grain harvesters), Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik, 2017, No 4 (44), PP. 175–181.
6. Praktikum po tehnologii proizvodstva produkcii rastenievodstva: uchebnik (Workshop on the technology of crop production: a textbook), V. A. Shevchenko, I. P. Firsov, A. M. Solov'ev, I. N. Gasparjan, St. Petersburg: Lan', 2021, 400 p.
7. GOST 28301-2007. Kombajny zernouborochnye. Metody ispytaniy. Moscow, Standartinform, 2010, 40 p.

© Лонцева И. А., Соболева Н. В., 2021

Статья поступила в редакцию 05.07.2021; одобрена после рецензирования 27.07.2021; принята к публикации 26.08.2021.

The article was submitted 05.07.2021; approved after reviewing 27.07.2021; accepted for publication 26.08.2021.

**Информация об авторах**

**Лонцева Ирина Александровна**, кандидат технических наук, доцент,  
Дальневосточный государственный аграрный университет, e-mail: largoil@mail.ru;

**Соболева Наталья Владимировна**, старший преподаватель, Дальневосточный  
государственный аграрный университет, e-mail: soboleva.07@mail.ru.

**Information about the authors**

**Irina A. Lontseva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State  
Agrarian University, e-mail: largoil@mail.ru;

**Natalya V. Soboleva**, Senior Lecturer, Far Eastern State Agrarian University, e-mail:  
soboleva.07@mail.ru.